

Apparatus for imaging particles, .g. cells or emulsion droplets, comprises a high-resolution video microscope with an electronic camera trained on a flash-illuminated agitated particle suspension

Patent Number: DE19923074
Publication date: 2000-11-16
Inventor(s): SUHR HAJO (DE)
Applicant(s): SUHR HAJO (DE); KARL VOELKER STIFTUNG AN DER F (DE)
Requested Patent: ☐ DE19923074
Application Number: DE19991023074 19990513
Priority Number(s): DE19991023074 19990513
IPC Classification: G01N15/14 ; G02B21/00 ; C12M1/34
EC Classification: G02B21/36
Equivalents: ☐ EP1177472 (WO0070385), A3, ☐ WO0070385

Abstract

Apparatus for imaging particles comprising a high-resolution video microscope with an electronic camera trained on a small volume of a particle suspension in a transparent cuvette, a particle agitating device so that there is free exchange of particles between the imaged volume and the rest of the suspension, and a light source for illuminating the suspension in sub-microsecond flashes, is new. Apparatus for imaging particles comprising a high-resolution video microscope with an electronic camera trained on a small volume of a particle suspension in a transparent cuvette, a particle agitating device so that there is free exchange of particles between the imaged volume and the rest of the suspension, and a light source for illuminating the suspension in sub-microsecond flashes, is new. An image processor counts and characterizes the particles in a series of images from the camera.

Data supplied from the esp@cenet database - I2



⑮ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenl gungsschrift**
⑩ **DE 199 23 074 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:
G 01 N 15/14
G 02 B 21/00
C 12 M 1/34

⑳ Aktenzeichen: 199 23 074.9
㉔ Anmeldetag: 13. 5. 1999
㉔ Offenlegungstag: 16. 11. 2000

㉔ Anmelder:
Karl-Völker-Stiftung an der FH Mannheim, 68163
Mannheim, DE; Suhr, Hajo, Prof. Dr., 68163
Mannheim, DE

㉔ Erfinder:
Suhr, Hajo, 69120 Heidelberg, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Hochauflösendes Videomikroskop zur Ausmessung extrahierter Proben von Partikelsuspensionen mit eingprägter mechanischer Probenschwingung

DE 199 23 074 A 1

DE 199 23 074 A 1

Die meßtechnische Erfassung und Charakterisierung von Partikeln in Probensuspensionen von geringer Größe stellt eine wichtige diagnostische Methode dar. Beispielsweise werden bei der Herstellung von Hefe oder auch beim Brauen von Bier Suspensionsproben aus den Fermentationsbehältern entnommen, die in verdünnter Form in standardisierten transparenten Meßkammern (beispielsweise Thoma-Meßkammer) unter dem Labormikroskop betrachtet, zur Konzentrationsermittlung ausgezählt und bezüglich der Partikelgröße mit Hilfe automatischer Bildverarbeitung ausgemessen werden. Hierbei handelt es sich um eine Standardmethode in allen von Partikeln kontrollierten Prozessen, beispielsweise in der Biotechnologie oder in der chemischen Verfahrenstechnik, wo Stoffe in Form mikroskopischer Partikel in Reaktoren anfallen und charakterisiert werden müssen.

Auch in der Medizin fallen Blutproben in Milliliter- bis Mikroliter-Volumina an, die in derselben Weise, eventuell unter Zuhilfenahme von Anfärbemethoden ausgewertet werden.

Diese Erfindung löst zwei bisher auftretende Probleme bei der mikroskopischen Diagnose kleiner Suspensionsmengen.

Erstens:

Zur Auszählung in normierten Zählkammern unter dem Labormikroskop sind aufwendige und fehlerträchtige Verdünnungsschritte notwendig, bis eine zur visuellen oder automatischen Charakterisierung geeignete, stark verdünnte Probensuspension in einem kleinen Probenvolumen von Mikrometer-Größenordnung hineinpräpariert ist. Jeder Verdünnungsschritt und die abschließende Einbringung in die Meßkammer riskieren Abweichungen von einer korrekten Auswertung. Manuelle Fehler, Adsorptionseffekte, osmotische Effekte, Sedimentationen und Entmischungseffekte durch Strömungsbeschleunigungen können den repräsentativen Charakter der präparierten Partikel-Stichprobe zerstören.

Zweitens:

Die präparierte transparente Meßkammer muß präzise und stabil unter dem Mikroskop fixiert und fokussiert werden, damit weder Bewegungsunschärfe durch Restströmung oder Vibrationsunruhe oder optische Defokussierung die visuelle oder automatische Bildauswertung stören. Dies stellt hohe Anforderungen an das Mikroskopstativ und die optischen Justier Vorrichtungen.

Selbst wenn die eigentliche Bildauswertung durch digitale Bildverarbeitung automatisiert wird, bleiben als kostenträchtige Nachteile die Erfordernisse eines aufwendigen Labormikroskops, einer volumenpräzisen Küvette und einer Fokussierung mit entsprechender Sorgfalt.

Beide Probleme werden von der hier beschriebenen Erfindung umgangen. Erfindungsgemäß wird die Probe in scheinbarer Paradoxie zu den Erfordernissen einer hochauflösenden Mikroskopie durch elektromechanische oder magnetomechanische Hilfsmittel in beständige Unruhe und schnelle Bewegung versetzt. Dies bewirkt, daß sich die Probensuspension dauernd neu durchmischt, und daß sich keine Konzentrationsgradienten entwickeln können.

Da mit gewöhnlichen Mikroskopen wegen der künstlich eingepprägten Unruhe hochauflösende mikroskopische Bilder aus der Suspension nicht mehr zu machen sind, benutzt man erfindungsgemäß ein hochauflösendes Videomikroskop mit extrem kurzen Belichtungszeiten von unter einer Mikrosekunde. Dieses Videomikroskop ist Stand der Technik im Bereich der inline Prozesskontrolle (Patent DE 40 32 002 C2 sowie der Artikel in "In Situ Microscopy

for On Line Characterization of Cell Population in Bioreactors", Biotechnology & Bioengineering 47, 106-117 (1997)). Die extrem kurze Belichtungszeit dieses Mikroskops von weniger als Mikrosekunden erlaubt scharfe Aufnahmen von bewegten mikroskopischen Partikeln in der mechanisch gerüttelten, in Schwingungen versetzten oder gerührten Probenküvette.

Weiterhin benötigt dieses Mikroskopiekonzept kein mechanisch begrenztes Beobachtungsvolumen. Stattdessen kann man das virtuelle Volumen nutzen, daß sich durch die begrenzte Schärfentiefe der Objektivabbildung von selbst aus einer größeren Suspensionsumgebung herauschält. Das beobachtete Meßvolumen begrenzt sich objektiv und reproduzierbar durch Anwendung eines numerischen Schärfenkriteriums im Algorithmus der automatischen Bildverarbeitung. Es kann mit definierten Eichsuspensionen kalibriert werden. Das kurz gepulste Videomikroskop erzeugt auszählbare und ausmeßbare Direktaufnahmen aus der künstlich turbulent oder strömend gehaltenen Probensuspension. Die gezählten Objekte können durch Kalibrierung direkt als Maß der Partikelkonzentration interpretiert werden.

Durch eine transparente Küvettenwand werden eine größere Anzahl Bilder aufgenommen, beispielsweise einige hundert, die der automatischen Bildverarbeitung zur Auszählung und Ausmessung der Partikelformen zugeliefert werden.

Damit die Durchmischung und Konzentration der Suspension auch gegen die Tendenz zur Entmischung durch Sedimentation und Adsorption erhalten bleibt, wird die Suspension durch miniaturisierte mechanische Rührer oder durch aufgeprägte Rüttelleffekte durch magnetomechanische oder elektromechanische Schwingungen in Bewegung gehalten. Beispielsweise ein mit Schwingungen beaufschlagter Piezokristall in Kontakt mit der Küvette kann zur nachhaltigen Durchmischung und Bewegung der Partikel dienen.

Die Anzahl aufgenommener Bilder ist proportional zur Größe der statistischen Stichprobe, die in die sich aus der Bildinformation zusammensetzt. Dies gilt jedoch nur solange, wie garantiert ist, daß Szenen aufeinanderfolgende Bilder (d. h. die zufällig darin enthaltene Partikelsammlung) vollkommen unkorreliert sind. Das zur Auswertung herangezogene, scharf abgebildete virtuelle Probenvolumen innerhalb der Suspension muß seinen Inhalt also zwischen zwei Bildern vollständig austauschen. Eben dieser Zweck wird durch das erfindungsgemäße mechanische Rütteln an der Küvette ebenfalls erfüllt.

Folgende drei Hauptvorteile ergeben sich mit der erfindungsgemäß in Unruhe versetzten Mikroskopierküvette unter einem gepulsten Videomikroskop:

1. Anspruchslos Probenbehälter: Auf ein volumenpräzise Probenkammer kann verzichtet werden, da durch die Bildverarbeitung ohnehin nur die scharf abgebildeten Partikel aus einem geringeren Teilvolumen der Küvette zur Auswertung herausgefiltert werden und auf diese Weise ein virtuelles aber präzise kalibrierbares Probenvolumen entsteht. Die automatische Bildverarbeitung zählt scharf abgebildete Zellen und erzeugt mit der mittleren Zählrate pro Bild ein kalibrierbares Signal der Anzahlkonzentration in der Suspension. Zusätzlich kann sie morphologische Details wie Formfaktoren oder Größenhistogramme ermitteln.
2. Der Fokussierungsaufwand entfällt, weil das Mikroskop immer eine scharf abgebildete Schicht in der Suspension findet, wobei die unscharf abgebildeten Schichten durch die automatische Bildverarbeitung von der Auswertung ausgegrenzt werden. Es kann da-

her auch ohne aufwendige Probenfixierung und ohne vibrationsarmes Mikroskopstativ scharfe Bilder aus der Suspension aufnehmen. Es entfällt auch die in der konventionellen Mikroskopie notwendige vibrationsarme Fixierung und Ruhigstellung der Präparate unter dem Mikroskop, denn der Bewegungsunschärfe unruhiger Partikel wird durch die extrem kurze Belichtungszeit elektronisch ausgewichen.

Ein kostengünstiger einfacher mechanischer Aufbau ohne das herkömmliche teure justierbare Mikroskopstativ wird damit ermöglicht.

3. Vereinfachte Probenpräparierung: Die Notwendigkeit einer starken Verdünnung entfällt oder wird abgemildert, da das in -situ-Mikroskop auch auswertbare und kalibrierbare Bilder im Bereich sehr hoher Konzentrationen von beispielsweise über 10^9 Partikeln pro Kubikzentimeter bei 4 Mikrometern Partikeldurchmesser aufnimmt. Bei vorhandenen Probenmengen im Milliliterformat ist die sorgfältige Präparierung repräsentativer winziger (und daher fehleranfälliger) Probevolumina von wenigen Mikrolitern nicht mehr notwendig, da die größeren Proben mit eingepprägter Präparatbewegung gut durchmischt bleiben und direkt aus ihnen repräsentative Bilder im gepulsten Videomikroskop erzeugt werden.

Insgesamt wird so erreicht, daß die mikroskopische Charakterisierung von Partikelparametern in geringen Probevolumina wesentlich vereinfacht, und kostengünstiger gestaltet werden kann.

Fig. 1 zeigt eine beispielhafte Ausformung der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Sie zeigt den Mikroskoptubus 1 mit Bildsensor 2 (Beispielsweise ein CCD-Frame) und mit Objektiv 3 und Sichtfenster 4 über einer transparenten quaderförmig konstruierten Probenküvette 5. Die Küvette sitzt auf einem Piezoring 6, welcher durch Elektrodenbeschichtung auf konventionelle Art elektrisch zu mechanischen Schwingungen angelegt werden kann. Beaufschlagt man die Elektroden mit einer geeigneten elektrischen Wechselspannung 8, kann man von niederfrequenten Schwingungen bis zum Ultraschall beliebige periodische Bewegungen in die Küvette einkoppeln und die Durchmischung der Suspension erzwingen.

Unter der Küvette im Zentrum des Piezoringes ist eine miniaturisierte Blitzlampe 7 – nötigenfalls mit Kondensoroptik – positioniert, die eine Durchlichtbelichtung der bewegten Probe erzeugt. Vorteilhaft – weil kostengünstig – ist die Verwendung von gepulsten Lumineszenzdioden.

Patentansprüche

1. Vorrichtung mit einem Videomikroskop zur mikroskopischen Abbildung von Partikeln, wie beispielsweise biologische Zellen in Suspensionsproben oder Tröpfchen in Emulsionsproben, **gekennzeichnet** durch die folgenden Merkmale:

Das Videomikroskop ist ein Mikroskop zur hochauflösenden Abbildung schnell bewegter mikroskopischer Partikel durch extrem kurze Belichtungspulse (ca. 1 Mikrosekunde) beispielsweise durch gepulste Lumineszenzdiolen

– der Probenbehälter der Suspension wird durch ein optisch transparentes Fenster vom Mikroskop eingesehen,
– die aufgrund der begrenzten Schärfentiefe der Objektivabbildung scharf abgebildete Suspensionsschicht bildet ein geringeres Teilvolumen des gesamten Suspensionpräparats,

– die Suspension wird durch magnetomechanische oder elektromechanische Hilfsmittel wie beispielsweise magnetische Rührer oder Piezo-Oszillatoren in Strömungsunruhe versetzt,
– die mechanisch induzierte Unruhe der Suspension erzeugt eine beständige Durchmischung der Suspension und verhindert die Ausbildung von Konzentrationsgradienten der Partikel innerhalb des Probenbehälters,
– die Belichtung mit Sub-Mikrosekunden Blitzen ermöglicht eine hochauflösende Abbildung von Kleinstpartikeln bis in den Bereich von Sub-Mikrometern,
– es werden von der elektronischen Kamera am Mikroskop eine Anzahl von Bildern aus derselben Probensuspension aufgenommen und einer automatischen Bildverarbeitung zur Zählung und Charakterisierung der ausreichend scharf abgebildeten Objekte zugeleitet,
– die mechanisch induzierte Unruhe der Suspension sorgt für schnellen vollständigen Austausch der Partikel zwischen der scharf abgebildeten Volumenschicht und der Restsuspension im Probenbehälter
– die einzelnen Bilder enthalten durch den mechanisch induzierten Strömungsaustausch repräsentative und unkorrelierte statistische Bilddaten aus der Suspension und jedes Bild trägt damit proportional zur auswertbaren Bilddatenmenge bei.

2. Vorteilhafte Ausgestaltung der Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch die folgenden Merkmale:

– eine plane transparente Küvette 5 mit der Suspension wird direkt unter dem Mikroskopobjektiv 5 auf einem Piezo-Ring 6 gehalten, der durch eine externe Wechselspannung 8 in mechanische Schwingungen versetzt wird,
– die Schwingung des Piezokristalls koppelt durch den mechanischen Kontakt an die Küvette an und führt zur ständigen schnellen Bewegung der Partikel und ihrer Durchmischung in der Suspension,
– unterhalb der Küvette befindet sich eine kurz gepulste (< 1 Mikrosekunde) Lumineszenzdiode 7 zur Durchlichtbelichtung.

3. Vorteilhafte Ausgestaltung der Vorrichtung nach Anspruch 1 und 2, gekennzeichnet durch die folgenden Merkmale:

als Probenbehälter 9 wird ein beispielsweise ein bis zehn Milliliter fassendes Gefäß verwendet, in welches ein hermetisch geschlossener Mikroskoptubus 10 mit gepulster LED-Belichtung 11 taucht,

– am Tubusende befindet sich ein optisches Fenster 12, durch welches das Mikroskop in die Suspension 9 einsieht,

seitlich am Tubusende befindet sich eine gepulste Lumineszenzdiode 11 zur schrägen Durchlichtbelichtung des Mikroskops,

– die Durchmischung der Suspension wird durch einen miniaturisierten Magnetrührer 13 geleistet.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Fig 1

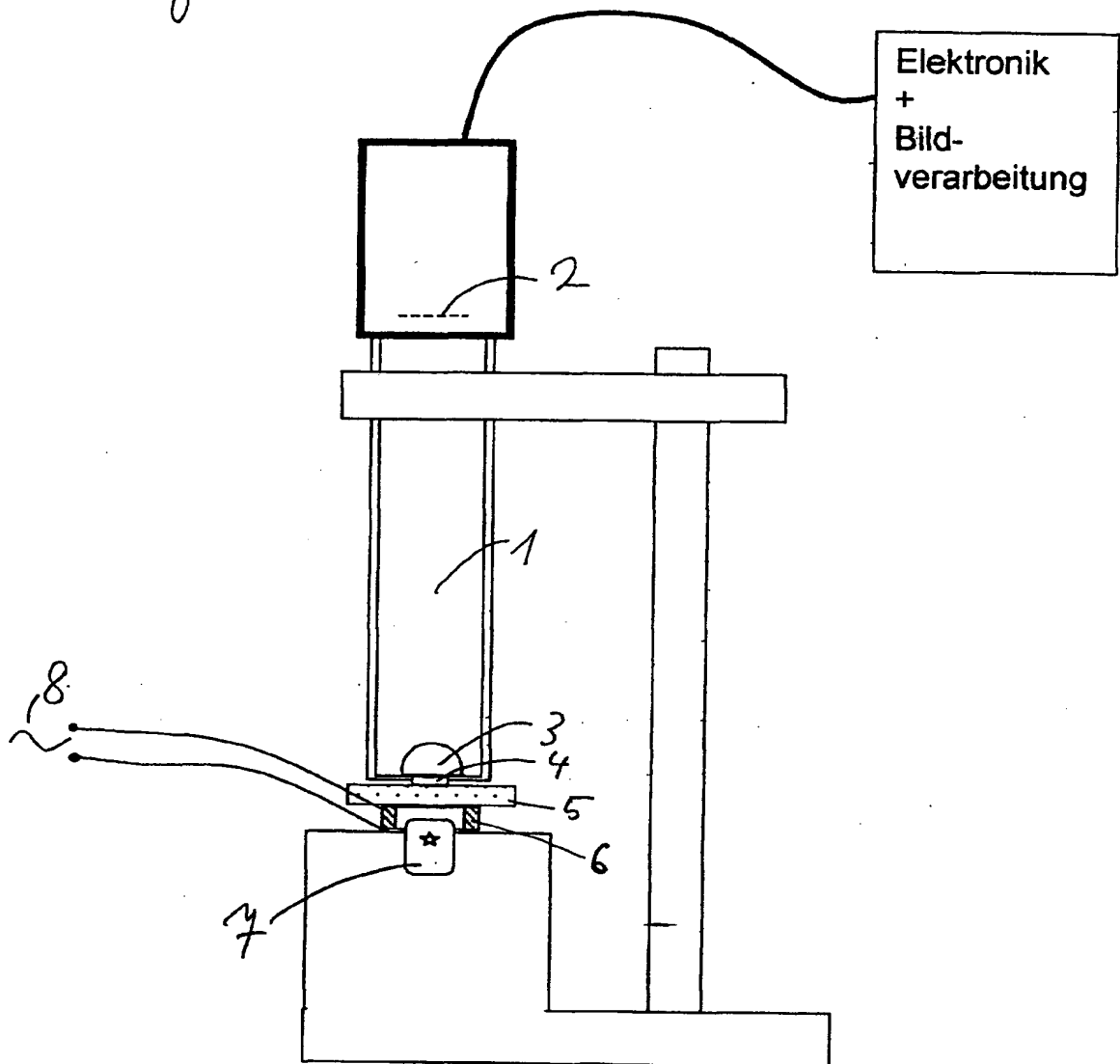


Fig 2

